

**Датчик перемещения** — это прибор, предназначенный для определения величины линейного или углового механического перемещения какого-либо объекта. Разумеется, подобные приборы имеют колоссальное количество практических применений в самых разнообразных областях, поэтому существует множество классов датчиков перемещения, которые различаются по принципу действия, точности, цене и прочим параметрам. Следует сразу отметить, что все датчики перемещения можно разделить на две основных категории — датчики линейного перемещения и датчики углового перемещения (энкодеры). В рамках данного обзора основное внимание будет уделено именно датчикам линейного перемещения.

По принципу действия датчики перемещения могут быть:

- Емкостными
- Оптическими
- Индуктивными
- Вихретоковыми
- Ультразвуковыми
- Магниторезистивными
- Потенциометрическими
- Магнитострикционными
- На основе эффекта Холла

### **Емкостные датчики перемещения**

В основе работы датчиков данного типа лежит взаимосвязь ёмкости конденсатора с его геометрической конфигурацией. В простейшем случае речь идёт об изменении расстояния между пластинами вследствие внешнего физического воздействия (Рисунок 1). Поскольку ёмкость конденсатора изменяется обратно пропорционально величине зазора между пластинами, определение ёмкости при прочих известных параметрах позволяет судить о расстоянии между пластинами. Изменение ёмкости можно зафиксировать

различными способами (например, измеряя его импеданс), однако в любом случае конденсатор необходимо включить в электрическую цепь.

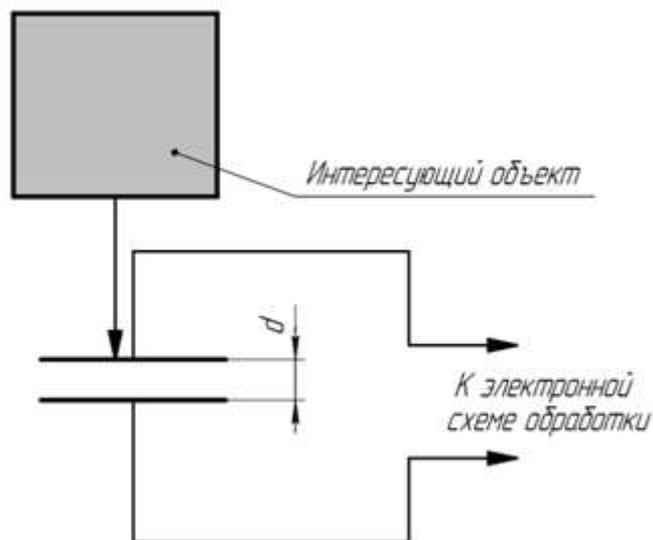


Рисунок 1. Емкостной датчик линейного перемещения с изменяющейся величиной зазора.

Другой схемой, где выходным параметром является электрическая ёмкость, является схема, содержащая конденсатор с подвижным диэлектриком (Рисунок 2). Перемещение диэлектрической пластины между обкладками конденсатора также приводит к изменению его ёмкости. Пластина может быть механически связана с интересующим объектом, и в этом случае изменение ёмкости свидетельствует о перемещении объекта. Кроме того, если сам объект обладает свойствами диэлектрика и имеет подходящие габариты — он может быть использован непосредственно в качестве диэлектрической среды в конденсаторе.

**Достоинства:** простота изготовления, использование недорогих материалов для производства; малые габариты и вес; низкое потребление энергии; высокая чувствительность; отсутствие контактов (в некоторых случаях — один токосъем); долгий срок эксплуатации; потребность весьма малых усилий для перемещения подвижной части емкостного датчика; простота приспособления формы датчика к различным задачам и конструкциям.

**Недостатки:** сравнительно небольшой коэффициент передачи (преобразования);

высокие требования к экранировке деталей; необходимость работы на повышенной (по сравнению с 50 Гц) частоте.

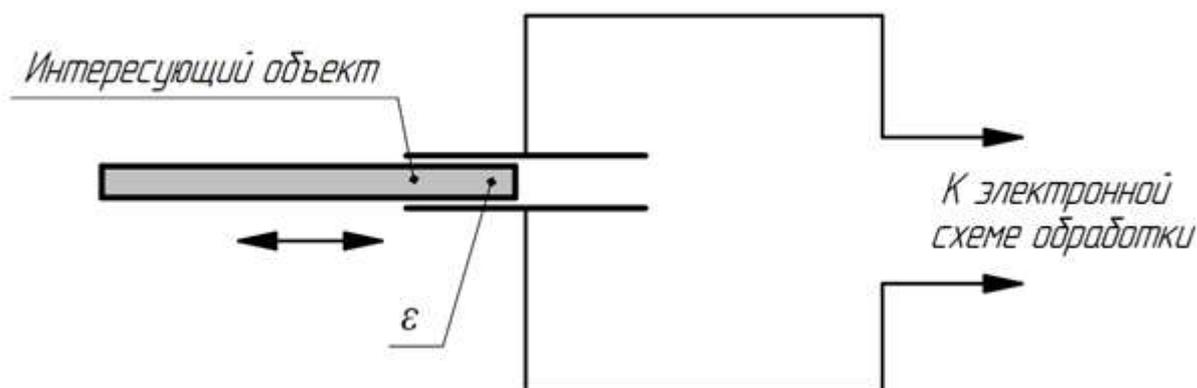


Рисунок 2. Емкостной датчик линейного перемещения с подвижным диэлектриком.

### Оптические датчики перемещения

Существует множество вариаций схем датчиков перемещения, основанных на различных оптических эффектах. Пожалуй, наиболее популярной является схема оптической триангуляции — датчик положения является, по сути, дальномером, который определяет расстояние до интересующего объекта, фиксируя рассеянное поверхностью объекта излучение и определяя угол отражения, что даёт возможность определить длину  $d$  — расстояние до объекта (Рисунок 3).

**Достоинства:** возможность производить бесконтактные измерения, кроме того такие датчики обычно довольно точны и имеют высокое быстродействие.

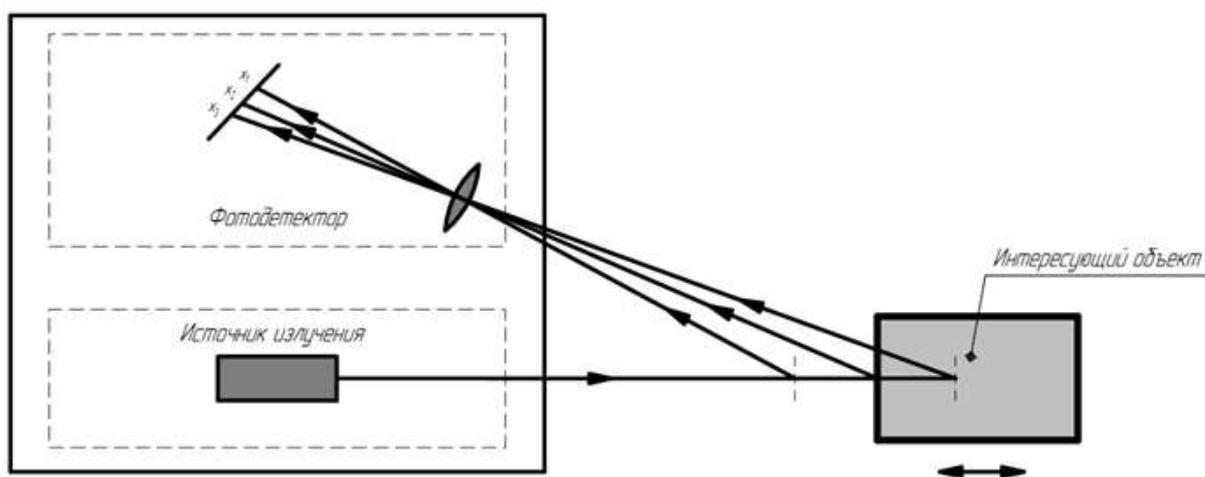


Рисунок 3. Оптический датчик перемещения на основе схемы оптической триангуляции.

В другой реализации оптического датчика, предназначенной для регистрации и определения параметров малых перемещений и вибраций, используется двойная решётчатая конструкция, а также источник света и фотодетектор (Рисунок 4). Одна решётка неподвижна, вторая подвижна и может быть механически закреплена на интересующем объекте или каким-либо способом передавать датчику его движение. Малое смещение подвижной решётки приводит к изменению интенсивности света, регистрируемой фотодетектором, причём с уменьшением периода решётки точность датчика возрастает, однако сужается его динамический диапазон.

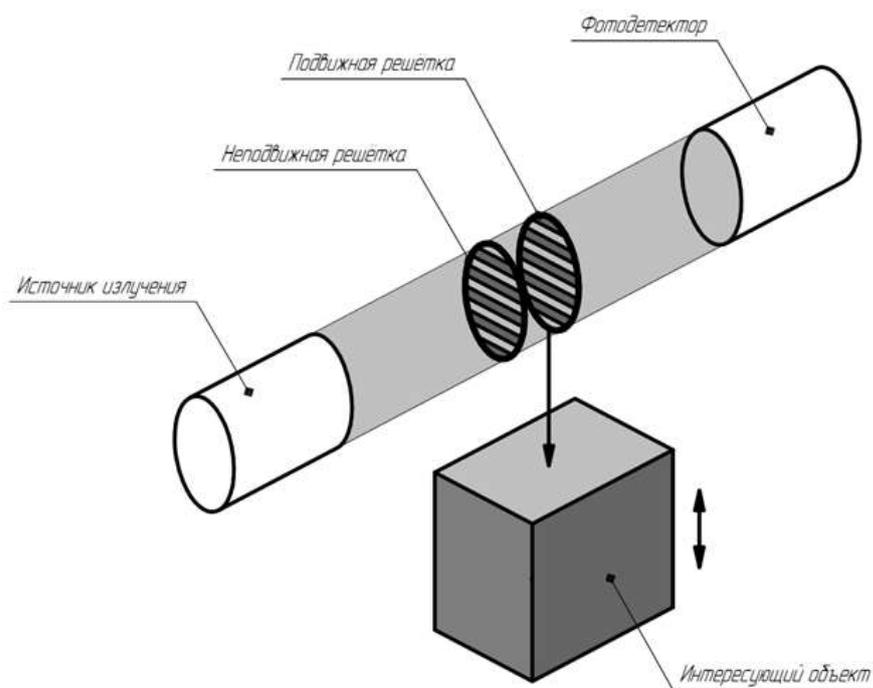


Рисунок 4. Оптический датчик перемещения на основе дифракционных решеток.

Дополнительными возможностями применения обладают оптические датчики, учитывающие поляризацию света. В таких датчиках может быть реализован алгоритм селекции объектов по отражательным свойствам поверхности, т.е. датчик может «обращать внимание» только на объекты с хорошей отражающей способностью, прочие объекты игнорируются.

**Недостатки:** разумеется, чувствительность к поляризации негативно сказывается на стоимости подобных устройств.

### Индуктивные датчики перемещения

В одной из конфигураций датчика данного типа чувствительным элементом является трансформатор с подвижным сердечником. Перемещение внешнего объекта приводит к перемещению сердечника, что вызывает изменение потокосцепления между первичной и вторичной обмотками трансформатора (Рисунок 5). Поскольку амплитуда сигнала во вторичной обмотке зависит от потокосцепления, по величине амплитуды вторичной обмотки можно судить о положении сердечника, а значит и о положении внешнего объекта.

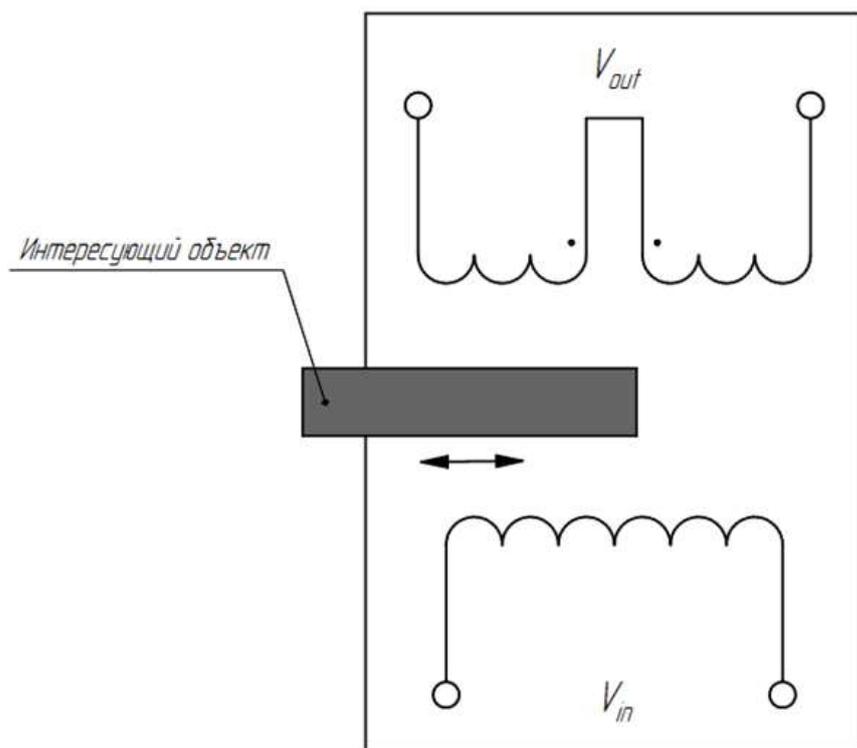


Рис. 5. Индуктивный датчик перемещения на трансформаторе.

Другая конфигурация имеет более простую схему, однако она пригодна лишь для небольшого количества приложений, где требуется определять незначительные перемещения или вибрации объектов, состоящих из ферромагнитного материала. В данной схеме интересующий ферромагнитный объект играет роль

магнитопровода, положение которого влияет на индуктивность измерительной катушки (Рис. 6).

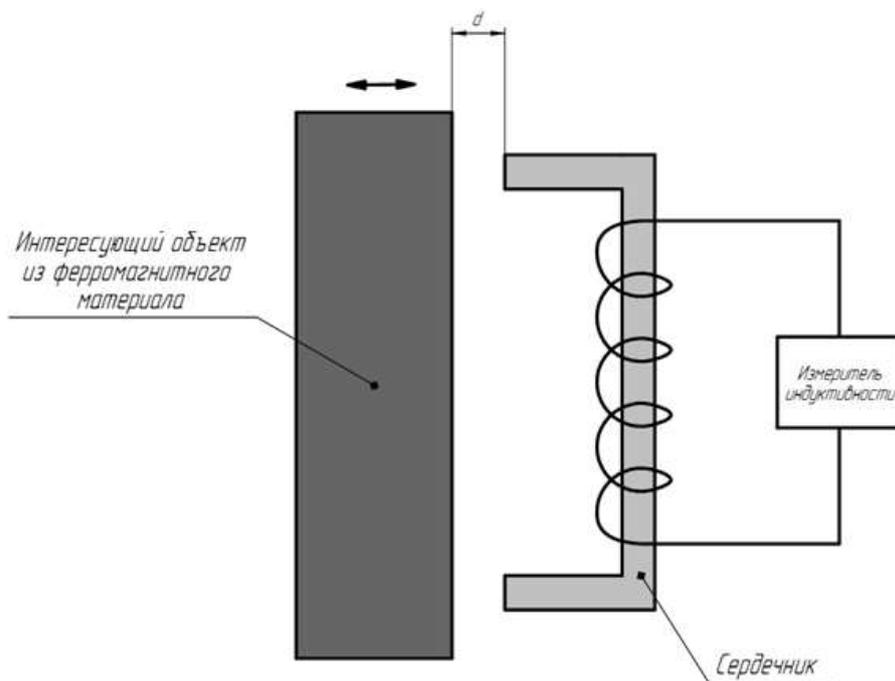


Рис. 6. Индуктивный датчик перемещения для объектов из ферромагнитных материалов.

**Достоинства:** простота и прочность конструкции, отсутствие скользящих контактов; возможность подключения к источникам промышленной частоты; относительно большая выходная мощность (до десятков Ватт); значительная чувствительность.

**Недостатки:** точность работы зависит от стабильности питающего напряжения по частоте; возможна работа только на переменном токе.

### **Вихретоковые датчики перемещения**

Датчики данного типа содержат генератор магнитного поля и регистратор, с помощью которого определяется величина индукции вторичных магнитных полей. Вблизи интересующего объекта генератор создаёт магнитное поле, которое, пронизывая материал объекта, порождает в его объёме вихревые токи (токи Фуко), которые, в свою очередь, создают вторичное магнитное поле (Рисунок 7). Параметры вторичного поля определяются регистратором, и на их основании

вычисляется расстояние до объекта, так как чем объект ближе, тем больший магнитный поток будет пронизывать его объём, что усилит вихревые токи и индукцию вторичного магнитного поля. Подобный принцип используется и в вихретоковых дефектоскопах, однако там на параметры вторичного магнитного поля влияет не расстояние до объекта, а наличие в его внутренней структуре скрытых несовершенств. Метод является бесконтактным, однако может применяться только для металлических тел.

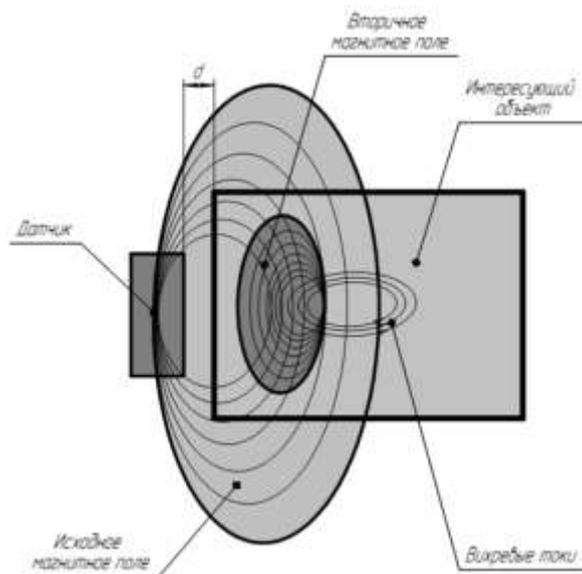


Рис. 7. Вихретоковый датчик перемещения.

**Достоинства:** высокая точность.

**Недостатки:** может применяться только для металлических тел.

### Ультразвуковые датчики перемещения

В ультразвуковых датчиках реализован принцип радара – фиксируются отражённые от объекта ультразвуковые волны, поэтому структурная схема обычно представлена источником ультразвуковых волн и регистратором (Рисунок 8), которые обычно заключены в компактный корпус. Определение временной задержки между моментами отправки и приёма ультразвукового импульса позволяет измерять расстояние до объекта с точностью, достигающей до десятых долей миллиметра. Наряду с оптическими, ультразвуковые датчики на сегодняшний день являются, пожалуй, наиболее универсальным и технологичным

бесконтактным средством измерения. Использование этого принципа измерений опять же можно найти в детекторах обнаружения дефектов, только на этот раз уже в ультразвуковых дефектоскопах.

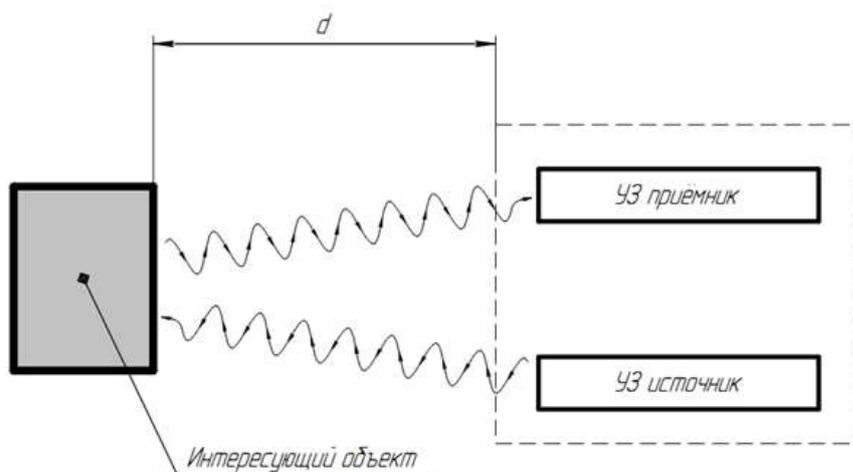


Рис. 8. Ультразвуковой датчик перемещения.

**Достоинства:** имеют широкий температурный диапазон эксплуатации и нечувствительны к цвету поверхности измеряемого объекта

### **Магниторезистивные датчики перемещения**

В магниторезистивных датчиках перемещения используется зависимость электрического сопротивления магниторезистивных пластинок от направления и величины индукции внешнего магнитного поля. Датчик, как правило, состоит из постоянного магнита и электрической схемы, содержащей включённые по мостовой схеме магниторезистивные пластинки и источник постоянного напряжения (Рисунок 9). Интересующий объект, состоящий из ферромагнитного материала, перемещаясь в магнитном поле, изменяет его конфигурацию, вследствие чего изменяется сопротивление пластинок, и мостовая схема регистрирует рассогласование, по величине которого можно судить о положении объекта.

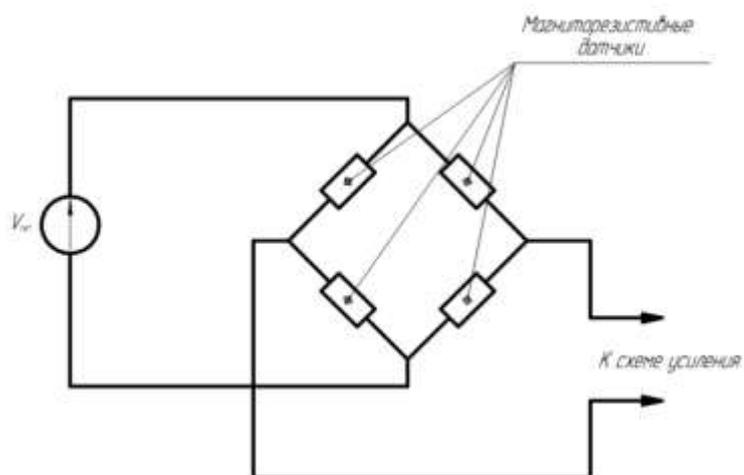


Рис. 9. Магниторезистивный датчик перемещения.

**Недостатки:** применение дорогих и чувствительных к температуре полупроводников.

### Датчики на основе эффекта Холла

Датчики этого типа имеют конструкцию подобную конструкции магниторезистивных датчиков, однако в основу их работы положен эффект Холла — прохождение тока через проводник, на который воздействует внешнее магнитное поле, приводит к возникновению разности потенциалов в поперечном сечении проводника.

**Достоинства:** отсутствие механических движущихся частей и высокое быстродействие (до 100 кГц). Также достоинством является высокая надежность, долговечность и то, что не требуется физического контакта с измеряемой средой.

### Магнестрикционные датчики перемещения

Как правило, магнестрикционный датчик представляет собой протяжённый канал - волновод, вдоль которого может свободно перемещаться постоянный кольцевой магнит. Внутри волновода содержится проводник, способный при подаче на него электрических импульсов создавать магнитное поле вдоль всей своей длины (Рисунок 10). Полученное магнитное поле складывается с полем постоянного магнита, и результирующее поле создаёт момент вращения канала,

содержащего волновод (эффект Вайдемана). Импульсы вращения распространяются по каналу в обе стороны со скоростью звука материала канала. Регистрация временной задержки между отправкой электрического импульса и приёма импульса вращения позволяет определить расстояние до постоянного магнита, т.е. определить его положение. Канал может иметь довольно большую длину (до нескольких метров), а положение магнита может быть определено с точностью до нескольких микрометров.

**Достоинства:** обладают отличной повторяемостью, разрешением, устойчивостью к неблагоприятным условиям и низкой чувствительностью к температурным изменениям.

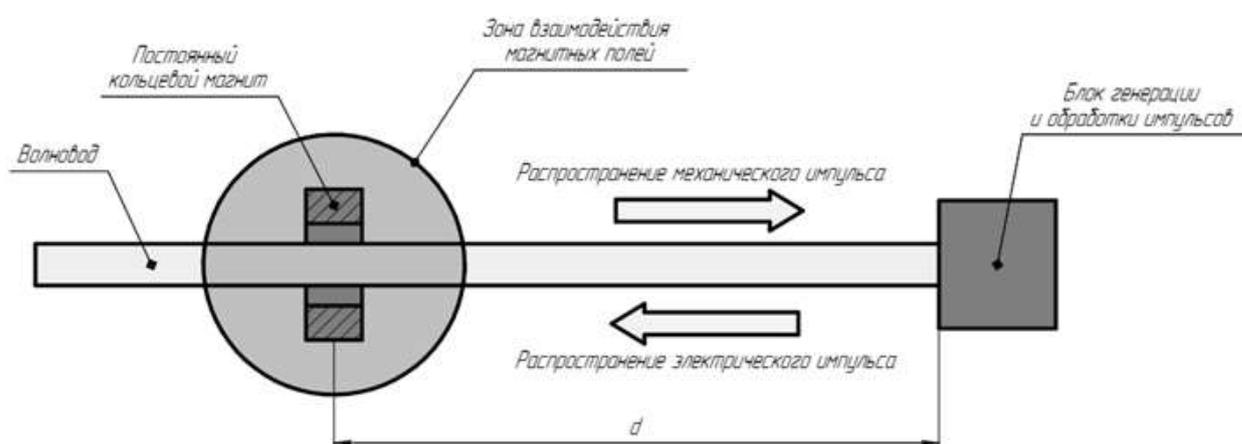


Рис. 10. Магнестрикционный датчик перемещения.

### Потенциометрические датчики перемещения

Датчик данного типа в своей основе имеет электрический контур, содержащий потенциометр (Рисунок 11). Линейное перемещение объекта приводит к изменению сопротивления потенциометра (переменного резистора). Если через потенциометр пропускать постоянный ток, то падение напряжения на нём будет пропорционально величине сопротивления, и, следовательно, величине линейного перемещения интересующего объекта.

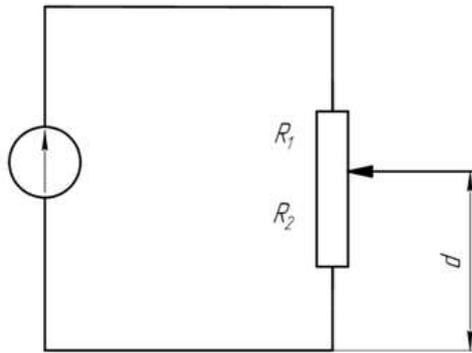


Рис. 11. Потенциометрический датчик перемещения.

**Достоинства:** простота и низкая стоимость. Однако для универсальных, прецизионных и бесконтактных измерений в последнее время всё чаще используются датчики на основе оптических эффектов.